

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE
DE L'ÉLECTROCARDIOGRAPHIE
CHEZ LE CHEVAL
DÉTERMINATION DE L'AXE ÉLECTRIQUE
ET DU CHAMP ÉLECTRIQUE SUPERFICIEL

THÈSE

PRÉSENTÉE

A LA FACULTÉ MIXTE DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE DE LYON

et soutenue publiquement le 22 Décembre 1964

POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR VÉTÉRINAIRE

PAR

Monsieur Jacques BOUTTE

Elève des Ecoles Vétérinaires de Lyon et d'Alfort

Elève de l'Ecole du Service de Santé Militaire

Né le 3 Décembre 1936 à REIMS (Marne)



**CONTRIBUTION A L'ÉTUDE
DE L'ÉLECTROCARDIOGRAPHIE
CHEZ LE CHEVAL
DÉTERMINATION DE L'AXE ÉLECTRIQUE
ET DU CHAMP ÉLECTRIQUE SUPERFICIEL**

« L'interprétation des E.C.G. animaux reposant sur des données extrapolées de l'Electrocardiographie humaine peut, sans la connaissance de l'orientation de l'axe électrique, par rapport au Plan des dériva-tions, aboutir à des erreurs d'interpréta-tion ».

Robert-L. HAMLIN (16).

**CONTRIBUTION A L'ÉTUDE
DE L'ÉLECTROCARDIOGRAPHIE
CHEZ LE CHEVAL
DÉTERMINATION DE L'AXE ÉLECTRIQUE
ET DU CHAMP ÉLECTRIQUE SUPERFICIEL**

THÈSE

PRÉSENTÉE

A LA FACULTÉ MIXTE DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE DE LYON

et soutenue publiquement le 22 Décembre 1964

POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR VÉTÉRINAIRE

PAR

Monsieur Jacques BOUTTE

Elève des Ecoles Vétérinaires de Lyon et d'Alfort

Elève de l'Ecole du Service de Santé Militaire

Né le 3 Décembre 1936 à REIMS (Marne)



PERSONNEL ENSEIGNANT

DE L'ÉCOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE DE LYON

Directeur	M. FLORIO
Directeur honoraire	M. JUNG
Directeur honoraire	M. TAPERNOUX
Professeur honoraire	M. CUNY

14 Chaires.

PROFESSEURS

1 ^{re} Pharmacie et Toxicologie.....	MM. TAPERNOUX
2 ^e Anatomie descriptive, Extérieur, Anatomie appliquée.....	BARONE
3 ^e Physiologie, Thérapeutique, Pharmacodynamie	BOST
4 ^e Histologie, Embryologie, Anatomie pathologique.....	LUCAM
5 ^e Hygiène et Industrie des Aliments d'origine animale.....	FLACHAT
6 ^e Zoologie appliquée, Parasitologie externe, Parasitologie interne.....	EUZEBY
7 ^e Pathologie médicale des Equidés et des Carnivores. Législation vétérinaire	FLORIO
8 ^e Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de basse-cour	COTTEREAU
9 ^e Technique chirurgicale, Pathologie chirurgicale	COLLET
10 ^e Obstétrique, Pathologie de la Reproduction	BERTRAND
11 ^e Microbiologie, Immunologie, Maladies contagieuses, Police sanitaire.....	JOUBERT
12 ^e Ethnologie, Hygiène, Zootechnie, Economie rurale	FROGET
13 ^e Botanique appliquée, Agronomie, Alimentation.....	JEAN-BLAIN
14 ^e Physique et Chimie biologiques et médicales.	MAGAT

MAITRES DE CONFÉRENCES non Chefs de service.

MM. FERNEY, RUCKEBUSCH, Agrégés.

CHEFS DE TRAVAUX

MM. BUSSIÉRAS, OUDAR, Agrégés.

CHANTEGRELET, JEAN-BLAIN Claude, LAPRAS,
LE NIHOUANNEN, VAN HAVERBEKE.

ASSISTANTS

M. DESCHANEL, Mlles DUFOUR, GENTILLETI, GONZALÈS,
MM. PROY, VERINE.

EXAMINATEURS DE LA THÈSE

Président : M. le Professeur CHATONNET, de la Faculté de Médecine.
Premier Assesseur : M. le Professeur FLORIOT, de l'Ecole Vétérinaire.
Deuxième Assesseur : M. le Professeur BOST, de l'Ecole Vétérinaire.

La Faculté de Médecine et l'Ecole Vétérinaire déclarent que les opinions émises dans les dissertations qui leur sont présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elles n'entendent leur donner ni approbation, ni improbation.

A MON PERE, A MA MERE

Qui voient dans cet ouvrage un couronnement à leurs efforts.

Qu'ils y trouvent aussi l'expression de notre pieuse gratitude et de notre affection.

A JANINE, MA FEMME

Dont le travail a permis celui-ci ; dont les qualités d'Epouse et de Mère créent journellement le bonheur, très simple.

A NOTRE FILLE CLAIRE

« Juventute de l'anno, primavera de la vita... ».

A NOS GRAND-PARENTS

Nous regardons comme un modèle leur courage, si quotidien qu'ils n'y croient même pas.

A MES SCEURS ET A LEUR FAMILLE

A MES ONCLES ET TANTES,

MES NEVEUX ET MES NIECES

A TOUS MES PARENTS

et singulièrement

A MES BEAUX-PARENTS

Dont la famille est, à plus d'un chef, la mienne.



A NOTRE JURY DE THESE

MONSIEUR LE PROFESSEUR CHATONNET

Qui nous a fait le très grand honneur
de bien vouloir présider cet Aréopage.

MONSIEUR LE PROFESSEUR FLORIO

Dont la bienveillance et l'autorité ont
marqué nos études au même titre que
qualité de ses cours magistraux.

MONSIEUR LE PROFESSEUR BOST

Qui, par son enseignement aimable
son sens des « Humanités », nous
donné le goût du travail gratuit et la fierté
en notre Métier.

A NOS MAITRES

et notamment

FEU MONSIEUR LE PROFESSEUR FLORENTIN

MONSIEUR LE PROFESSEUR GORET

MONSIEUR LE PROFESSEUR JOUBERT

MONSIEUR LE MÉDECIN-COMMANDANT FLANDROIS

Dont les entretiens furent pleins d'en-
seignement et d'amabilité.

A NOS CHEFS
et principalement

A MONSIEUR LE VÉTÉRINAIRE-GÉNÉRAL ILLARTEIN
A qui nous devons ce sujet de Thèse.

A MESSIEURS LE VÉTÉRINAIRES-COMMANDANTS
CHARY et DUFOUR

A qui nous devons son exécution.
Nous avons hautement bénéficié de
leur aide technique, mais surtout de leur
esprit scientifique et de leur abnégation
de chercheurs vrais.

A MONSIEUR LE VÉTÉRINAIRE-CAPITAINE FOATA

A NOS ANCIENS DES DEUX ECOLES
PIERRE-LOUIS VERLY et JACQUES BLANCHARD

A NOS CAMARADES MEDECINS ET VÉTÉRINAIRES

A TOUS NOS AMIS

Dont Saint Georges est le lien le plus
fréquent.

Contribution à l'Etude de l'Electrocardiographie chez le Cheval

Détermination de l'Axe Electrique et du Champ Electrique Superficiel

INTRODUCTION

A la suite de WALLER, EINTHOVEN et ses collaborateurs — il y a de cela 50 ans — ont admis que le champ électrique cardiaque pouvait être assimilé à celui d'un dipôle. L'axe de ce dipôle, variable dans le temps, reconnaît une orientation moyenne qui a pris le nom d'Axe Electrique du Cœur. Le champ de ce dipôle se marque par des lignes de force courbes joignant l'un et l'autre pôles.

L'approximation de cette théorie, remarquée dès son élaboration, est suffisante dans la pratique et cette représentation physique a permis de développer des raisonnements fructueux, de la même manière que des figures fausses de géométrie permettent de résoudre un problème.

Si le milieu est électriquement homogène, l'axe et le champ du dipôle sont géométriquement liés : connaître l'un, c'est être éclairé sur l'autre. C'est pourquoi il nous a paru utile de tenter la détermination de l'axe électrique du cœur du cheval par les méthodes des dérivations bipolaires, d'une part, et de rechercher les points « zéro potentiel » du champ cutané, d'autre part.

Ce travail devait nous permettre de justifier le choix des dérivations C.E.P.B. étudiées et présentées dans sa Thèse de Doctorat Vétérinaire par BLANCHARD (4).

Nous avons pour cette étude fait une totale abstraction de la pathologie.

Ultérieurement, devront être précisées les modifications de l'axe électrique imputables aux cardiopathies ou liées à des particularités anatomiques et physiologiques, ainsi que les relations qui lient cet axe à l'axe anatomique.

CHAPITRE I

TRAVAUX ANTERIEURS ET DONNEES DE LA LITTERATURE

A) Principe de l'électrocardiographie

Potentiel électrique au sein des cellules.

La membrane de toute cellule vivante au repos, présente sur la face externe des charges positives, et, sur la face interne, des charges négatives.

Cet état d'équilibre des charges de part et d'autre des membranes s'appelle la *Polarisation des Cellules*.

Lorsque les cellules sont activées — lorsqu'une fibre musculaire se contracte par exemple — l'équilibre est rompu au point d'excitation. Les charges positives et négatives s'inversent en ce point à partir duquel le phénomène se propage de proche en proche, produisant une « onde de dépolarisation ».

Potentiel d'action des tissus.

La différence entre les potentiels au repos, de part et d'autre d'une membrane musculaire est de l'ordre de 90 mv.

La dépolarisation correspond à la mise en place de potentiels de signes inverses des précédents. La tension mesurée entre les deux côtés de la membrane est alors

voisine de 20 mv. La différence des potentiels entre deux points d'une cellule dont l'un est au repos et l'autre est activé, est donc voisine de 110 mv. La surface de la fibre qui va être excitée est électropositive, et celle qui vient de l'être, électronégative.

Le cœur peut être assimilé à une telle cellule et le myocarde activé comprend des points positifs et négatifs. Un galvanomètre relié à deux de ces points enregistre une déflexion ; celle-ci donne une image assez précise de la nature et de la force de la contraction fibrillaire, c'est-à-dire de la conductibilité et de l'excitabilité du tissu musculaire.

L'assimilation du cœur à une fibre isolée n'est qu'une approximation que traduit la complexité des courbes enregistrées à sa surface.

Le Dipôle Cardiaque.

Le champ électrique créé par les contractions cardiaques peut à chaque instant, selon l'approximation de WALLER, être assimilé à celui que produiraient les deux pôles d'une source d'électricité plongée dans un volume conducteur : c'est pourquoi EINTHOVEN parlait de *Dipôle Cardiaque*.

La droite joignant les deux pôles est celle le long de laquelle la densité du champ est à son maximum : cette droite constitue l'*Axe Electrique* du cœur.

Cet axe sert de support au vecteur cardiaque qui donne une représentation graphique de la F.E.M. du cœur en voie de dépolarisation. Le vecteur cardiaque est variable, dans le temps, en orientation et grandeur, mais nous verrons plus loin que l'on peut en déterminer un graphique moyen satisfaisant l'hypothèse du dipôle.

On peut également se représenter les lignes isopotentielles du champ de ce dipôle et un plan zéro-potentiel perpendiculaire en son centre.

Champ électrique. Principe de dérivations dipolaires.

Imaginons ce dipôle, considéré comme ponctuel, au centre d'une vaste sphère électriquement homogène. Le champ superficiel à la surface de la sphère est régulier, c'est-à-dire que les potentiels en deux points symétriques par rapport à la source électrique, donc au centre, sont à chaque instant égaux entre eux et de signe contraire. Il y a ainsi deux hémisphères de signe opposé limités par un équateur de potentiel zéro.

On peut mesurer des différences de potentiel entre deux points de cette sphère, pourvu que ces points ne soient pas situés sur une ligne isopotentielle, et l'on parle de *dérivations dipolaires*.

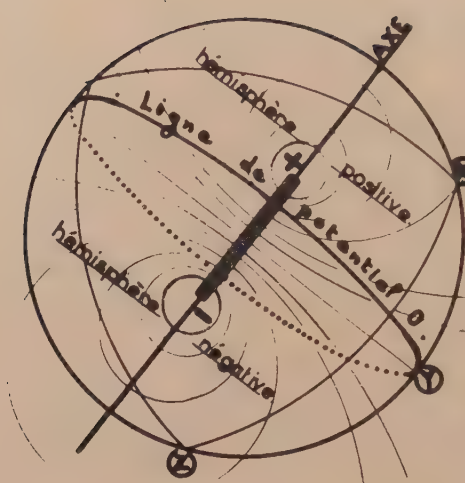
En changeant de points, on peut faire varier à l'infini l'image de déflexion qu'enregistre, par exemple, un galvanomètre : ces déflexions seront monophasiques si l'on dérive deux points d'un même hémisphère et diphasiques si ces points sont situés de part et d'autre de la ligne d'équateur (10).

Mais dans la pratique, le dipôle sera tout aussi bien défini par l'un des méridiens comprenant l'axe électrique. Or, trois points suffisent à définir un cercle et le mieux sera de choisir sur ce cercle trois points équidistants. Les dérivations peuvent donc être représentées par les côtés D1, D2 et D3 d'un triangle équilatéral. Elles explorent le milieu conducteur de 60° en 60° .

Ce triangle est appelé *triangle d'EINTHOVEN*. Il définit le plan d'investigation. Les dérivations qu'EINTHOVEN utilisait chez l'homme joignaient les deux poignets entre eux et chacun d'eux à la cheville gauche. Sa méthode est dite des *Dérivations standard*. Elle consiste à enregistrer les variations des différences de potentiel qui existent entre les trois points mentionnés. On obtient des courbes appelées E.C.G. (électrocardiogramme en abrégé) dipolaires.

AXE et CHAMP

d'un dipôle placé au centre d'une sphère.



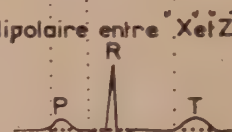
ECG en "X" (unipolaire)



ECG en "Y" (unipolaire)



ECG dipolaire entre "X" et "Z"

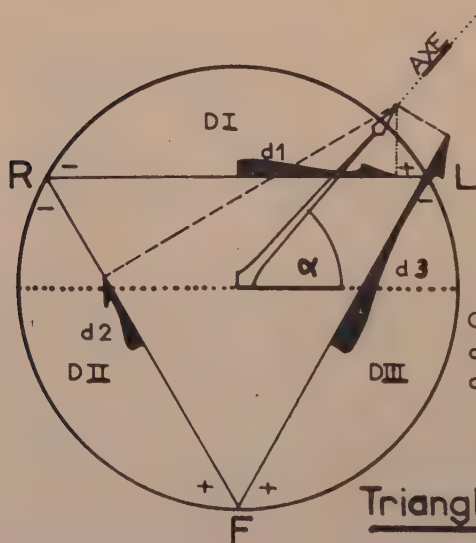


ECG en "Z" (unipolaire)



$d = R - (Q + S)$

Q S
Ventriculogramme
Auriculogramme



$d1 = +5$

$d2 = -2,5$

$d3 = -7,5$

Construction vectorielle
de l'axe électrique du
cœur au moyen du

Triangle d'EINTHOVEN

Ces courbes D I, D II et D III représentent l'activité électromotrice du cœur puisqu'elles sont formées par le lieu des projections instantanées du vecteur cardiaque sur chacun des côtés D1, D2 et D3 du triangle.

Il n'était donc pas indifférent d'utiliser n'importe quel plan d'investigation. En effet, le vecteur cardiaque évolue autour d'un point d'origine, non pas exactement mais pratiquement dans un plan (18). C'est ce qu'ont montré les études de vectocardiogrammes spatiaux menées à bien par CABRERA en 1959 et RIJLANT en 1960 notamment. Aussi convient-il que ce plan soit proche du plan d'investigation, faute de quoi les projections ne seraient que partielles. On sait que chez l'homme il contient approximativement l'axe anatomique et la ligne des oreillettes.

De même, il ne sera pas indifférent de choisir — chez le cheval — les points de dérivation à tel ou tel endroit, si l'on veut que les déflexions enregistrées sur chaque côté du triangle soient suffisamment développées.

Nous verrons que ces considérations théoriques ont fait récemment modifier chez cet animal les dérivations podales dites classiques et adaptées de l'électrocardiographie humaine.

Là se limite donc l'aspect physique de la question et commencent les difficultés d'application. En effet :

1° Le corps n'est pas une sphère et le cœur n'est pas une source ponctuelle d'électricité placée en son centre.

Il est donc difficile de réaliser l'équidistance des points de dérivation d'autant que, pour que la source soit assimilable à un point, il se faut trouver à une distance suffisamment grande du cœur.

2° Le milieu n'est pas homogène, encore que la résistivité des différents tissus soit à peu près partout équivalente et voisine de 500 ohms/cm (1).

Cette erreur n'est pas très importante puisque les champs superficiels sont expérimentalement reconnus réguliers, c'est-à-dire que les potentiels des points situés

sur une même courbe quelconque à la surface du corps se suivent sans discontinuité dans leurs modifications. Du moins cela a-t-il pu être contrôlé chez l'homme et chez le chien avec précision (1, p. 68).

3° Trouver trois points situés à la surface du corps du cheval à des distances comparables du cœur et définissant un triangle équilatéral qui contienne la source électrique et soit orienté de façon à satisfaire aux règles sur la projection vectorielle, est presque une gageure.

Equation d'EINTHOVEN.

Sachant que l'électrocardiogramme enregistré sur chaque dérivation équivaut à la projection du vecteur cardiaque sur le côté correspondant du triangle d'EINTHOVEN, il est facile à chaque instant de définir ce vecteur en composant deux de ses trois projections orthogonales. La troisième est donc définie également par les deux premières.

Les trois vecteurs projetés sont liés entre eux à chaque instant par la relation suivante, dite *équation d'Einthoven* :

$$DI + DIII + DII = 0$$

Cette relation est une impossibilité géométrique si l'on n'inverse pas le plus grand des facteurs ; aussi, depuis 1913 écrit-on :

$$DII = DI + DIII$$

Type de courbe enregistrée.

Nous avons représenté à la figure 1 une courbe type d'E.C.G. en dérivation dipolaire. Elle est composée d'éléments divers, les uns de forme aiguë, les autres de forme arrondie. Ils sont désignés par les lettres conventionnelles P. Q. R. S. T.

L'onde P constitue l'auriculogramme. Cet accident du graphique correspond à la systole auriculaire. Le complexe Q.R.S. et l'onde T constituent le ventriculo-

gramme et correspondent à la contraction ventriculaire. Les déflexions Q.R. et S. rendent compte de l'onde de dépolarisation qui anime le myocarde ventriculaire. L'onde T correspond à un courant de repolarisation.

Les segments PQ et ST, entre les accidents, sont les intervalles placés sur la ligne de référence dite isoélectrique, les déflexions sont positives au-dessus de cette ligne, négatives au-dessous.

Entre une onde T et l'onde P qui lui fait suite, la ligne isoélectrique correspond à la diastole cardiaque.

Principe de détermination graphique de l'Axe électrique.

On confond en pratique, Axe électrique et Axe moyen du ventriculogramme.

Certes les ventricules ne sont pas seuls responsables des modifications électriques enregistrées à la surface du corps. Mais le ventriculogramme représente de loin la partie importante du tracé et il est commode, sinon exact, de confondre l'axe électrique moyen de contraction ventriculaire avec l'axe électrique.

Il est également logique de négliger l'onde T pour se limiter à l'étude de l'axe moyen de QRS, étant donné que l'on attribue à T le sens d'une onde de repolarisation.

Pour situer dans l'espace de façon irrécusable le vecteur cardiaque, il faudrait en tout état de cause, connaître ses trois composantes simultanées sur des axes orthogonaux entre eux.

En fait, si le plan d'investigation a été bien choisi, les trois vecteurs partiels des ventriculogrammes enregistrés simultanément en permettent une représentation graphique satisfaisante.

Pour évaluer l'étendue D1, D2, D3 de ces vecteurs projetés, on peut :

1° Mesurer le potentiel de l'accident R du ventriculogramme ;

2° Faire la somme algébrique des potentiels en Q, R et S ;

3° Faire la somme algébrique des surfaces de Q, R et S.

C'est la seconde méthode que nous retiendrons parce qu'elle est à la fois précise et sans grande difficulté. Par contre, la première manque de précision : elle nous a servi à évaluer, en première approximation, l'orientation moyenne de l'axe sur l'ensemble des graphiques dont nous disposons. La troisième méthode, beaucoup plus rigoureuse, n'est pas praticable avec l'appareillage que nous employons, car la mesure des surfaces est entachée de larges erreurs à cause de l'épaisseur des tracés et de la forme même des courbes enregistrées.

Il est facile de construire, à partir du centre O d'un triangle équilatéral, un vecteur axial si l'on connaît ses composantes sur les trois côtés. En toute théorie, deux vecteurs suffisent. La comparaison de leur somme avec le troisième vecteur permet en outre de vérifier l'équation d'EINTHOVEN.

Si elle n'est pas vérifiée, c'est qu'une partie du cœur est hors du triangle d'investigation : tout cela se passe alors comme s'il y avait deux dipôles, l'un intérieur au triangle, dont le champ est analysé par les trois dérivations dipolaires, l'autre, extérieur, dont le champ n'influence qu'une seule de ces dérivations.

Nous définissons l'axe électrique par l'angle α que fait le vecteur ainsi projeté avec D I. Cet angle est compté en valeur positive dans le sens des aiguilles d'une montre et en valeur négative dans le sens inverse.

Signification et valeur de l'Axe électrique.

Nous savons que le vecteur cardiaque, considéré comme la somme algébrique des valeurs successives des

ventriculogrammes enregistrés simultanément, n'est qu'une représentation imparfaite de la F.E.M. moyenne de la source électrique. Pourtant, sa direction, l'axe électrique du cœur, correspond bien à quelque chose de « palpable ».

En effet, dans la pratique comme en théorie, les points vers lesquels ce vecteur se dirige ont des potentiels positifs, alors que ceux dont il s'éloigne ont des potentiels négatifs. De même l'on trouve bien, à la surface du corps, deux plages distinctes de potentiels différents avec, à la limite, une ceinture de points électriquement équidistants des charges + et — et que l'on appelle par convention des points de potentiel zéro, ou points *zéro-potentiel*. La relation qui lie l'axe à cet équateur est nécessairement constante.

De quoi dépend l'Axe Electrique ?

1° De la position du cœur probablement, encore que la corrélation entre l'axe électrique et l'axe anatomique reste à préciser chez le cheval.

2° De la conduction ventriculaire.

3° De l'activité électrique de la pile cardiaque. On conçoit que le vecteur cardiaque, image du « flot de dépolariisation » des ventricules, soit influencé par la tension électrique du cœur et de la résistivité propre du myocarde qui n'est qu'approximativement un conducteur homogène (13).

4° Des modifications variées peuvent influencer sur l'orientation de l'axe. Parmi celles-ci, l'hypertrophie peut être un signe de forme physique alors que d'autres ont un caractère pathologique, à savoir les troubles de conductivité et d'irrigation du myocarde (10).

Nous insistons sur ce que la détermination graphique a d'approximatif, mais l'équation d'EINTHOVEN, toujours exacte chez l'homme selon GOLDBERGER (4), n'est vérifiée que si l'axe réel est très voisin du plan d'investigation. Donc, la vérification de l'égalité algébrique :

$$D II = D I + D III$$

sur un pourcentage suffisamment grand des sujets, est une confirmation de la validité de ce plan et l'approximation est désormais suffisante pour justifier l'interprétation des électrocardiogrammes obtenus, par rapport à ceux obtenus chez l'homme et soigneusement codifiés.

Notons ici que MACAREZ, en 1958, concluait déjà dans sa thèse de Doctorat en Médecine, à une orientation du vecteur ventriculaire chez le cheval « d'arrière en avant, de bas en haut et de droite à gauche », soit à peu près grasset droit, pointe d'épaule gauche.

Signification et valeur du champ superficiel.

A la surface de la peau existe un champ électrique qui lui est propre et égal en tous points. C'est ce champ cutané qui définit en électrocardiographie un potentiel zéro et que vient modifier le courant d'action cardiaque, soit en le rendant positif, soit en le rendant négatif, selon les points envisagés. La position de ces points par rapport à l'axe cardiaque, leur proximité ou leur éloignement du myocarde, la conductivité des tissus qui les en séparent, sont autant de facteurs qui modifient l'aspect du champ cutané qu'enregistrent nos dérivations.

C'est pourquoi les champs superficiels que l'on pourra déterminer chez chaque sujet, pour être « réguliers », n'en ont pas moins une morphologie assez éloignée de la construction géométrique des deux hémisphères de signes opposés que nous avons envisagées en pure théorie.

Entre autres choses, la ligne *zéro-potentiel* de surface, chez le cheval ne peut en aucun cas représenter la section du corps par un plan. Il s'agit du reste non pas d'une ligne, mais d'une bande de points dont les potentiels, tantôt négatifs et tantôt positifs au cours d'un même ventriculogramme s'annulent algébriquement. Le fait que les tracés ne soient pas isopotentiels en ces points prouve que l'axe électrique

du dipôle qui les fait naître varie légèrement en orientation. Et nous n'en connaissons ainsi qu'une valeur moyenne approchée.

Il n'en reste pas moins intéressant de déterminer les variations individuelles des *cartes électriques*, la part de responsabilité des différents facteurs susceptibles de les modifier restant minime, à priori, en regard de l'orientation de l'axe électrique.

B) Instrumentation et techniques d'enregistrement

Electrocardiographes.

Les mesures sont faites et les courbes enregistrées au moyen d'appareils appelés Electrocardiographes. Ce sont des voltmètres à faible inertie et à haute sensibilité.

Pendant des années, le galvanomètre à corde, introduit en clinique par EINTHOVEN, a été le seul appareil utilisé, et il continue de l'être dans les laboratoires de recherche. Il est constitué par un fil de quartz que parcourt le courant à analyser. Si on place un tel fil dans un champ magnétique, il se déplace en fonction directe de l'intensité du courant qu'il transporte.

Dans l'électrocardiographie à amplificateur, le courant d'action cardiaque est amplifié par des lampes thermoïoniques du genre triode. Il peut agir sur des appareils à la fois plus légers et plus solides, que ce soient des galvanomètres à cadre ou, plus fréquemment, à miroir, qui déplacent un rayon lumineux en fonction directe du courant à analyser ; pour rendre enregistreurs ces appareils, il faut utiliser du papier photographique que l'on déplace dans une direction perpendiculaire aux déplacements du spot qui l'impressionne.

Aujourd'hui sont de plus en plus employés des appareils qui permettent la lecture instantanée. Les courants amplifiés sont dirigés sur un électro-aimant entre les

mâchoires duquel se trouve un stylet ou une plume qui inscrit les déflexions sur une bande de papier millimétrique se déplaçant à vitesse constante. Il en est de portatifs dont la précision est très satisfaisante.

Les oscillographes cathodiques permettent la lecture directe du tracé qui apparaît sur l'écran fluorescent du tube. Les deux bornes latérales font décrire au spot une ligne horizontale de référence dite isopotentielle ; les deux verticales impriment en faisceau cathodique des déplacements verticaux proportionnels aux tensions analysées.

Electrodes.

Appliqués sur le tégument ou fichés dans la peau, tous les types d'électrodes ont été essayés. On en retient deux aujourd'hui pour l'électrocardiographie du cheval :

Les électrodes à plaques d'argent sont enduites d'une pâte conductrice et appliquées à l'aide de fortes bandes de caoutchouc, sur le tégument mouillé avec une solution saline.

Les électrodes à pince : on emploie des pinces métalliques du genre crocodile dont les mors sont émoussés ou des pinces à forcipressure à mors plats.

Dérivations dipolaires.

Ce sont des dérivations qui enregistrent la différence de potentiel entre deux points de la surface du corps. Lorsque les points sont choisis pour satisfaire à l'équation d'EINTHOVEN, elles reçoivent la dénomination de *Dérivations Standard* ».

Nous avons vu quels tracés l'on pouvait en attendre et quels noms leur attribuer, selon l'emplacement des électrodes.

Chez l'homme, on utilise aussi des dérivations dipolaires dont une électrode est située en région précordiale et l'autre, dite neutre, sur la cheville droite. De telles dérivations sont désignées par les lettres C.F. (Chest-Foot).

Dérivations unipolaires.

Ce sont des dérivations qui traduisent les variations de potentiel de chaque point pris séparément : l'une des électrodes du circuit subit des variations de potentiel importantes alors que la seconde reste à un potentiel pratiquement constant. La première est dite *Electrode exploratrice*, l'autre *Electrode indifférente*.

Si l'hypothèse d'EINTHOVEN est vérifiée, la somme algébrique des potentiels sur les trois sommets du triangle est nulle. Voici donc une possibilité immédiate de créer une borne de potentiel zéro : il suffit de la relier par des circuits électriques à chacun des trois points d'investigation.

Pour ne pas avoir à tenir compte des résistances propres à chacun des trois circuits de liaison, on les augmente chacune de 5.000 ohms, résistance auprès de laquelle les précédentes peuvent être tenues pour nulles. Un tel dispositif fournit une borne dont le potentiel reste pratiquement nul tout au long de l'activation du cœur. On l'appelle *Borne Centrale de Wilson*.

Les dérivations unipolaires obtenues par comparaison avec le zéro-potentiel de la borne centrale de WILSON sont dites de type V. On désigne par VR, VL et VF de telles dérivations prises aux sommets du triangle d'EINTHOVEN.

Les dérivations unipolaires augmentées, aVR, aVL, aVF sont obtenues lorsque l'on explore chaque sommet (R, L et F) du triangle avec une électrode normale, tandis que le pôle de sortie de l'électrocardiographe est relié par des résistances de 5.000 ohms à chacun des autres sommets. L'amplitude des courbes ainsi obtenues est multipliée par $\sqrt{3}$, soit 1.732.

Les courbes enregistrées ont une morphologie tout à fait comparable à l'électrocardiogramme dipolaire type, analysé plus haut.

Différents plans d'investigation proposés chez le cheval.

Les conditions indispensables à une électrocardiographie pleinement valable sont les suivantes :

- a) Milieu électriquement homogène ;
- b) Triangle d'exploration approximativement équilatéral et facile à déterminer par rapport à des repaires anatomiques précis .
- c) Dipôle cardiaque localisé en son centre ;
- d) Equation d'EINTHOVEN vérifiée.

Celle-ci ne peut l'être que si les dimensions du triangle sont suffisamment grandes pour englober le cœur sans qu'aucun de ses côtés ne passe à proximité, de telle façon que l'on puisse considérer le milieu comme infini.

Ajoutons que, pour que l'on puisse tirer des E.C.G. chez l'animal, tous les renseignements que la méthode apporte en séméiologie humaine, il convient que les plans d'investigation soient *électriquement* comparables, c'est-à-dire que :

- e) Le plan soit orienté de manière à couper l'un et l'autre ventricule, l'une et l'autre oreillette.
- f) Qu'il n'y ait pas de « Redondance » entre deux informations, sans quoi, comme le montrent HAMLIN et ROBERT, il est impossible de circonscrire le phénomène.
- g) Que les informations enregistrées sur chaque dérivation soient lisibles, c'est-à-dire d'amplitude voisine du millivolt.

Parmi les nombreux plans de dérivations proposés, nous devons reconnaître que tous ne manifestent pas la

même rigueur physiologique, ce qui au demeurant n'altère pas la valeur de cet outil de la séméiologie cardiaque, tant il est vrai que des dérivations aussi peu usitées que « base de la queue », « pointe des oreilles », donnent des résultats graphiques d'une constance suffisante pour permettre une interprétation clinique.

Nous situerons uniquement les points de dérivations des méthodes dites *Classique*, de DUBOIS, et C.E.P.B.

1° LES DÉRIVATIONS CLASSIQUES.

Ce sont celles que, de longue date, on a calqué sur les dérivations employées chez l'homme sous le nom de *Dérivations Standard*.

Elles enregistrent les différences des potentiels d'action cardiaque mesurés entre les deux membres antérieurs d'une part, et d'autre part, entre chacun des antérieurs et le postérieur gauche.

Ces emplacements appelés R (right), L (left) et F (foot) justifient la désignation par VR, VL, VF des dérivations unipolaires des membres. Quant aux dipolaires :

D I joint R et L

D II joint R et F

D III joint L et F

En admettant que les membres ne font que prolonger sans faire varier leur proportion, les potentiels de leurs racines, on peut considérer le triangle d'investigation comme celui de la racine des membres antérieurs et du postérieur gauche.

Le plan est légèrement oblique d'arrière en avant et de haut en bas, mais le cœur ne s'y trouve compris que dans son extrémité apicale et le triangle ne ressemble ni de près ni de loin à une figure équilatérale dont l'apex cardiaque serait le centre.

Ces dérivations ne tiennent aucun compte de l'essentiel des différences anatomiques qui existent entre l'homme et le cheval.

L'équation d'EINTHOVEN n'est vérifiée que rarement. Les tracés obtenus sont inconstants et ne permettent pas d'utiliser les données vectorielles de la médecine humaine.

2° LES DÉRIVATIONS DE DUBOIS (11).

Elles se rapprochent considérablement des conditions théoriques de l'enregistrement et permettent l'obtention de tracés présentant une grande constance des accidents spécifiques.

Les points R et L sont situés à mi-hauteur du bord antérieur des épaules droite et gauche, le point F est rétro-xyphoïdien. Le triangle équilatéral ainsi délimité définit un plan incliné d'arrière en avant et de bas en haut, qui contient en son centre la partie moyenne du cœur, mais :

— Les tracés obtenus sont absolument originaux par rapport aux E.C.G. classiques et aux E.C.G. enregistrés chez l'homme.

— L'équation d'EINTHOVEN est approchée mais pas toujours vérifiée.

— Les tracés D2 et D3 sont en « Redondance » et le tracé D1 est approximativement isoélectrique, ce qui découle du reste de son orientation perpendiculaire à la ligne des oreillettes.

En effet, chez l'homme, la ligne des oreillettes joint approximativement les troisièmes côtes, d'un côté à l'autre, tandis que chez le cheval, elle est presque entièrement comprise dans un plan vertical : le cœur a fait une rotation de 90° sur son axe anatomique par rapport à sa position chez l'homme. (30).

Ces critiques ont entraîné des modifications expérimentées à Compiègne, au *Centre d'Etudes et de Produc-*

tions Biologiques du Service Biologique et Vétérinaire des Armées (C.E.P.B.) et proposées par BLANCHARD dans sa thèse de Doctorat sur les conseils des Vétérinaires Commandants CHARY et DUFOUR.

3° DÉRIVATIONS C.E.P.B.

Dans ces dérivations, l'appellation R est donnée à l'apophyse trachélienne du sternum ; L est un point situé à l'arrière du garrot et défini par la verticale au point d'intersection de la neuvième côte et d'une horizontale tracée à partir de R.

F est situé sur la carène sternale, en région postérieure de l'inter-ars. Pour situer ce point, nous divisons le sternum en cinq portions égales limitées par les points H1 (= R), H2, H3, H4, H5 et H6 qui correspond à l'apophyse xyphoïde. Le point F est précisément défini par le premier quart de l'espace H4, H5.

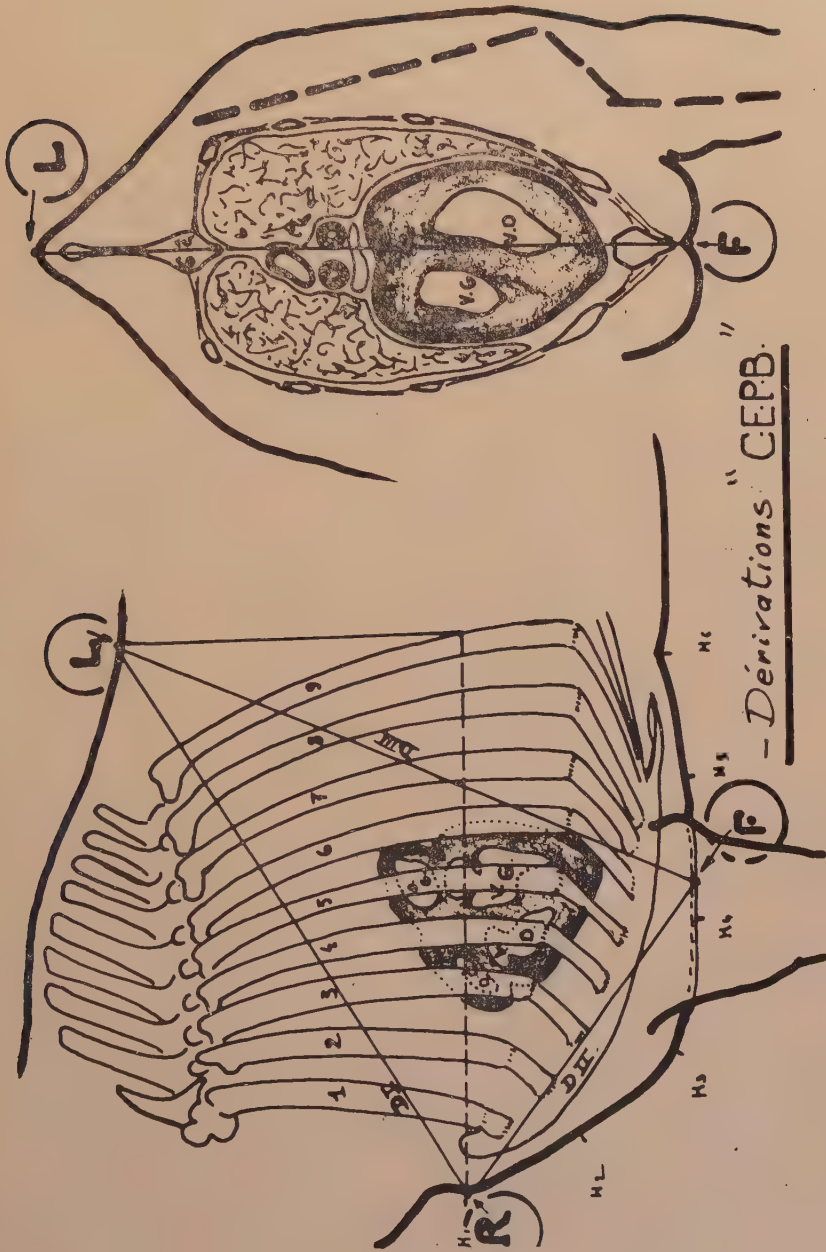
Le triangle qui joint ces points se trouve dans le plan sagittal du corps du cheval et ce plan coupe à la fois les deux oreillettes et les deux ventricules cardiaques d'une manière presque équivalente à ce qui se passe chez l'homme (Fig. n° 3).

Ce triangle n'est pas équilatéral, mais isocèle, et le cœur ne peut pas être considéré comme central. Pourtant l'équation d'EINTHOVEN est vérifiée dans un nombre fort satisfaisant de cas, à savoir 14 sur 17, alors que l'on ne pouvait la vérifier que dans 6 cas par la méthode de DUBOIS et dans 3 cas seulement par la méthode classique sur ces mêmes 17 chevaux étudiés par BLANCHARD.

Le plan d'investigation satisfait donc à l'hypothèse d'EINTHOVEN et le triangle peut être considéré comme « électriquement équilatéral ». Les dérivations qui le définissent sont donc bien des dérivations standard.

Les tracés présentent un haut degré de constance. Toutes les dérivations sont lisibles et sans redondance.

L'analogie avec les E.C.G. chez l'homme paraît être réalisée, encore que le nombre de cas de comparaison soit demeuré restreint.



CHAPITRE II

NOS RECHERCHES PROPREMENT DITES

Sujets d'expérience.

Nous avons disposé, pour les observations auxquelles se réfère ce chapitre, des animaux suivants, appartenant aux effectifs du C.I.S.B.V.A. ou y étant détachés :

33 chevaux 1/2 sang français...et 26 chevaux Barbes.

- | | |
|--------------------------|------------------------------|
| 1. NEW-STREET * | 34. SALAH * |
| 2. NERON * | 35. TAKAO * |
| 3. IRIS-DU-CHATELIER * | 36. TROPIC * |
| 4. MIETTE * | 37. KOALA * |
| 5. IRENE * | 38. UNANIME * |
| 6. KALMIA * | 39. ULMER * (matricule 389) |
| 7. KERMESSE * | 40. VITTELIUS * |
| 8. OURAGAN * | 41. UGON * |
| 9. JOYEUX BOSQUET * | 42. VENGEUR * |
| 10. GONDOLIER * | 43. TARZAN * |
| 11. QUIBERON * | 44. TALENT * |
| 12. PIERRE * | 45. TABARIN * |
| 13. PETER-PAN * | 46. PACHA * |
| 14. LUMINEUX * | 47. SYROS * |
| 15. KUPIDON * | 48. UGOLIN * (matricule 301) |
| 16. QUINTIN * | 49. URI * |
| 17. JOVIALE * | 50. ULTIME * |
| 18. PEDALIER * | 51. SURTOUT * |
| 19. MARQUIS-DU-DOMAINE * | 52. URGENT * |
| 20. QUOI-DONC * | 53. QUO-VADIS * |
| 21. MIARKA | 54. USTERIS * |
| 22. OBRINE | 55. ULMER (matricule 296) |
| 23. IODIANE | 56. UGOLIN (matricule 304) |

33 chevaux demi-sang français... et 26 chevaux Barbes.

- | | |
|---------------------|---------------|
| 24. IBIS | 57. UTAR |
| 25. LIBET | 58. SACRIPANT |
| 26. KERPHIR | 59. TARTARIN |
| 27. MANCHE | |
| 28. TARTARIN | |
| 29. IGLOO | |
| 30. MISS-SAVIGNY | |
| 31. PONTIFE | |
| 32. QUARTIER-MAITRE | |
| 33. OSEILLE | |

Les 41 sujets suivis d'un astérisque constituent notre effectif de base. Les 18 autres ont fait l'objet de mutations ou de réformes au cours de notre travail, et, chez ceux-ci, nos recherches sont restées partielles.

Pour faciliter l'exposé qui suit, c'est par les numéros ci-dessus affectés à chacun des chevaux que nous les désignerons désormais.

Matériel d'expérience.

Nos chevaux sont isolés du sol au moyen de sandales de cuir à semelles caoutchoutées que l'on fixe autour des pâturons par des courroies de cuir. Cet isolement n'est pas absolument indispensable si le cheval a les sabots secs et s'il repose sur une surface également sèche. Dans le cas contraire, il permet d'éliminer le parasitage dû au courant alternatif.

Les électrodes employées sont des plaques d'argent pour les dérivations des membres et la région du garrot. Elles sont enduites de pâte conductrice *Reegarpha* de chez Alvar, et appliquées sur la peau par des bandes de caoutchouc.

On emploie les pinces *Crocodile* pour toutes les autres dérivations. Le tégument n'est pas rasé mais mouillé avec une solution saline.

L'électrocardiographe dont nous disposons est un appareil de type *Cardoviar-VI* de chez Alvar, à 6 pistes, qui

permet d'obtenir sur le même document 6 tracés synchrones et linéaires. Il est alimenté par le circuit de 220 v. et comporte 4 étages d'amplificateurs.

Plan de travail.

Nous avons tout d'abord expérimenté sur 43 chevaux les trois méthodes de dérivations dipolaires décrites plus haut, et confirmé ainsi les résultats dont BLANCHARD faisait état dans sa thèse.

Puis, partant des travaux de MACAREZ sur le champ électrique superficiel, nous avons établi les cartes électriques du thorax de 41 sujets.

Il nous est alors apparu que, quoique les plages de positivité et de négativité soient de morphologie très variable, l'intersection de la ligne zéro potentiel avec le plan d'investigation choisi était toujours située sur la carène sternale, en un point variable d'un individu à l'autre. Nous appelons cette intersection *Zéro-Potentiel Sternal*.

Nous avons alors systématiquement comparé ce champ à la projection de l'axe électrique sur le plan sagittal.

Une constante relation existe entre ces données, à tel point que nous pensons possible de connaître l'orientation de la projection sur le plan sagittal de l'axe électrique moyen sans avoir recours aux dérivations dipolaires.

A) Essais de dérivations dipolaires

Sujets observés :

Les chevaux de demi-sang 10 à 23 et 31, 32 et 33. Tous les chevaux barbes, c'est-à-dire les numéros 34 à 59.

Nous enregistrons successivement les E.C.G. dipolaires de ces 43 chevaux selon les trois méthodes retenues précédemment.

Les dérivations podales.

Les E.C.G. sont généralement faciles à déchiffrer et différents dans les trois dérivations.

L'équation d'EINTHOVEN est vérifiée dans seulement 9 cas sur 43 (soit approximativement chez $1/5^e$ des animaux).

Les dérivations DUBOIS.

L'E.C.G. en D I présente une amplitude à peu près toujours comprise entre 0 et 0,2 millivolt. Les E.C.G. en D II et en D III sont fréquemment en redondance complète et les tracés sont bien développés sur ces dérivations.

L'équation d'EINTHOVEN est vérifiée dans 15 cas sur 43 (soit approximativement chez $1/3$ des animaux). Lorsqu'elle n'est pas vérifiée, l'équation d'EINTHOVEN est approchée à 0,1 ou 0,2 millivolt près.

Les dérivations C.E.P.B.

Les trois E.C.G. obtenus sont, dans tous les cas, très lisibles et nettement différents les uns des autres.

L'équation d'EINTHOVEN est vérifiée dans 35 cas sur 43, soit dans une proportion de $4/5^e$ des animaux soumis à cette étude. Ce pourcentage est le même si on le calcule séparément chez les deux lots de chevaux de race différente.

Dans les 8 cas où elle n'était pas vérifiée, nous avons obtenu deux approximations à 0,1 millivolt et 6 échecs importants avec une erreur allant de 0,2 à 1 millivolt. Dans 2 de ces 8 cas, l'équation était, par contre, vérifiée par les dérivations podales.

Notons que l'appréciation au $1/10^e$ de millivolt (soit au millimètre sur le graphique), est sans doute un peu abusive et que les cas auxquels correspond cette approximation peuvent être considérés comme très satisfaisants.

Nous devons conclure avec BLANCHARD, que la méthode des dérivations C.E.P.B. répond aux exigences théoriques dans un nombre important de cas.

Observations	DÉRIVATIONS											
	PODALES				DUBOIS				C. E. P. B.			
	D ₁	D ₂	D ₃		D ₁	D ₂	D ₃		D ₁	D ₂	D ₃	
10	-5	+2	+8		0	-15	-15	+	-4	-13	-9	+
11	-1	+5	+13		+1,5	-11	-12,5	+	+1	-10	-11	+
12	+3	+6	+3	+	+1	-7	-8	+	+3	-3	-6	+
13	+4	+7	+4		+1,5	-15	-16,5	+	-2	-9,5	-7,5	+
14	+4	+5	-2		+1	-17	-20		+2	-9	-11	+
15	+13	+5	-3		+2	-12,5	-14,5	+	-3,5	-9,5	-6	+
16	+9	+4	-5	+	+1	-12	-14		-3,5	-4	-0,5	+
17	-2	+6	+9,5		+1	-13	-17		-5	-5,5	-0,5	+
18	+4	+7	-2		+2	-16	-14		-4	-11,5	-7,5	+
19	+5	+8	-2		+2	-13	-16		-1	-8	-7	+
20	+1,5	0	-1		+0,5	-12	-12,5	+	-1,5	-6,5	-5	+
21	+1,5	+11	+9,5	+	-1	-15	-17,5		+6	-9	-15	+
22	-4	+0,5	+13		+0,5	-11	-13		-2,5	-12,5	-10	+
23	+4	+4	-2,5		+1,5	-18,5	-19		-4	-10,5	-6,5	+
34	+2	+9,5	+7,5	+	+0,5	-9	-9,5	+	+3,5	-5	-8,5	+
35	+5,5	+14	+9,5		+1,5	-12,5	-14	+	+5	-10	-15	+
36	+1,5	+10	+8,5	+	+1	-10	-17		+3,5	-11	-14,5	+
37	+13	+13	-2,5		+1	-9,5	-10,5	+	+6	-11,5	-17,5	+
38	+3	+8	+5	+	+2	-14	-14		+3	-8	-11	+
39	-4	+10	+9		+0,5	-11,5	-13		+4,5	-10,5	-15	+
40	+7	+4,5	-4		+1	-13,5	-15		+1,5	-8	-9,5	+
41	+2,5	+2	+1		+0,5	-15	-10,5		-1	-10,5	-9,5	+
42	+3,5	+4	-3		+1,5	-18,5	-19		-0,5	-8	-7,5	+
43	+2	+1,5	+1,5		0	-19	-15,5		-3,5	-13	-9,5	+
44	-1,5	-1	+1		+1	-17	-18	+	-2,5	-8,5	-6	+
45	-3	-6	0		0	-14	-13		-4,5	-12,5	-8	+
46	+4	+1	-6		+0,5	-11	-11,5	+	-4,5	-10	-5,5	+
47	+3	+5	+3		+0,5	-11,5	-12	+	-2,5	-10,5	-8	+
48	0	+3	+2		+1	-9	-10	+	-3	-7	-4	+
49	+2	-3	-4		+1	-16	-12		-5	-8	-3	+
50	+2,5	+1,5	-3		+1	-15,5	-13,5		-3,5	-5,5	-2	+
51	+4	-7	-1,5		+0,5	-12	-12,5	+	-5,5	-5,5	0	+
52	+2,5	+9,5	+8,5		0	-12	-13		0	-14	-14	+
53	+6	+6	-1,5		+2,5	-15	-15		-1	-7	-6	+
54	+1	+6	+5	+	+1	-16	-17	+	-3	-9	-6	+
55	+5	-2	-8		+0,5	-11	-14		-5	-7	-1	+
56	+1	+8	+7	+	+1,5	-16	-15,5		0	-9	-8	+
57	+3,5	+5,5	-0,5		+2	-18	-11		+1	-11	-6	+
58	+3,5	+9	+6,5		+0,5	-18,5	-15		-4	-18	-18	+
59	+3,5	-3	-5		+1	-17	-16		-3	-8	-2,5	+
31	+2,5	+5	+4		+1	-18,5	-17,5		-0,5	-12	-10	+
32	+0,5	-3	-3,5	+	+1,5	-18	-18		-0,5	-12	-1,5	+
33	+3,5	+6,5	+2		+1	-19,5	-18		-0,5	-15	-10	+

REMARQUES.

Nous avons vu que les dérivations *podales* ne correspondent pas à la définition des dérivations standard telles que les proposait EINTHOVEN.

Toutefois, les tracés obtenus sont faciles à lire et semblent convenir assez bien à la séméiologie clinique, dans la mesure où l'on se limite à l'étude des fonctions chronotrope et dromotrope, et partiellement bathmotrope et inotrope du cœur ; mais ils ne permettent que très rarement la construction d'un axe électrique moyen.

Notons que, sur le plan technique, il est plus facile d'obtenir de bons tracés par ces dérivations qu'avec les dérivations thoraciques, fréquemment parasitées par les trémulations musculaires.

La critique que fait DUBOIS des dérivations podales (11) est justifiée, mais les dérivations de remplacement qu'il propose ne donnent pas non plus entière satisfaction, et ceci pour deux raisons principales :

1° Les points R et L sont assez mal précisés. Des essais successifs faits par des personnes différentes appartenant aux Laboratoires du C.E.P.B., sur les mêmes chevaux, ont montré que les écarts d'appréciation pouvaient atteindre 12 centimètres. De ce fait, le plan d'investigation n'est pas nettement défini, et les tracés obtenus sur les mêmes chevaux dans ces conditions varient avec l'opérateur sans que l'on puisse attribuer d'autre signification à ces variantes.

2° Le triangle d'investigation est choisi de telle manière que, presque toujours, les tracés en D II et D III sont en redondance et D I pratiquement illisible.

Il s'en suit que l'axe électrique se trouve toujours voisin de -90° lorsque l'équation d'EINTHOVEN est vérifiée. Cet axe se situe donc dans un plan sagittal, et c'était une raison de plus de choisir un tel plan d'investigation pour les dérivations expérimentales du C.E.P.B.

Les dérivations C.E.P.B. ne sont plus dans un plan transverse mais sagittal. L'appellation par R, L et F des sommets du triangle ne se justifie plus que par la nomenclature en usage sur les appareils du commerce et par l'analogie des courbes électrocardiographiques obtenues en dérivant ces points deux par deux avec les électrocardiogrammes obtenus en médecine humaine sous les mêmes appellations.

L'analyse du vecteur cardiaque moyen ne se fait plus en seule intensité comme dans les dérivations DUBOIS, mais à la fois en force et en orientation. Cette méthode est donc la seule que nous puissions retenir pour l'étude de l'axe électrique moyen.

B) Etablissement des cartes électriques

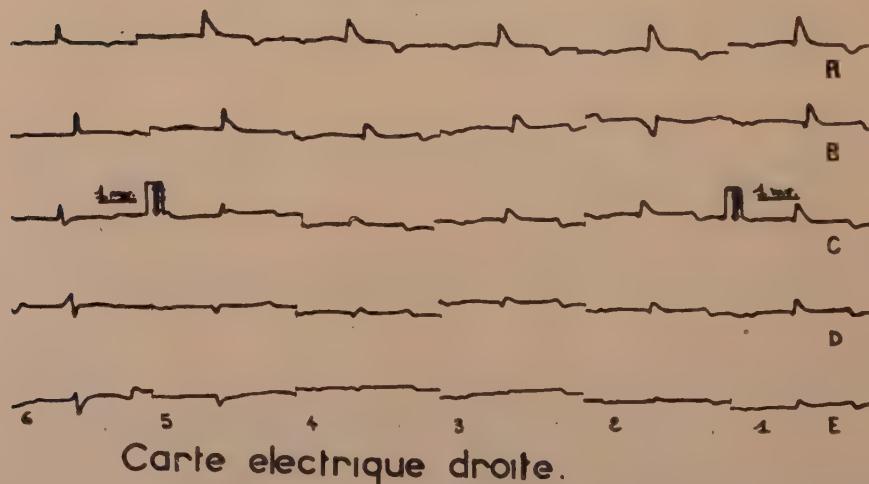
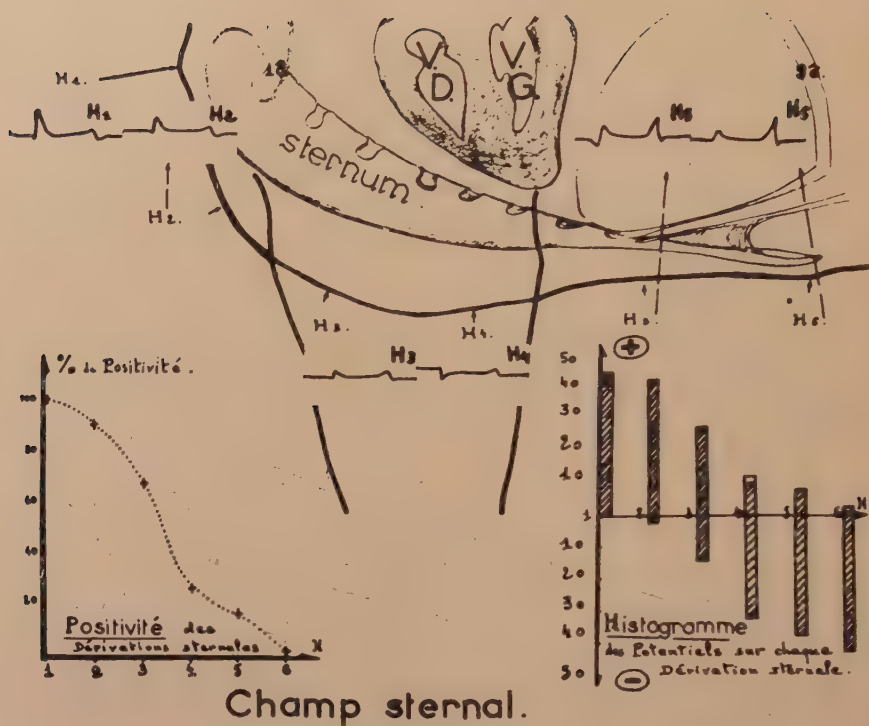
Conditions de travail.

Nous avons étudié les champs superficiels thoraciques droit et gauche, dans les limites qu'indique la figure n° 5, sur les chevaux 1/2 sang français 1 à 20 et chez les chevaux barbes 34 à 54, soit 41 sujets en tout.

Il s'agit uniquement de chevaux chez lesquels les dérivations C.E.P.B. ont vérifié l'équation d'EINTHOVEN. Les observations n°s 1 à 9 ont été décrites par BLANCHARD (4). Nous avons seulement établi leurs cartes électriques en plaçant nos électrodes unipolaires à l'intersection des lignes horizontales et verticales que nous définissons ainsi :

Horizontales :

- A passe par l'union du poitrail et de l'encolure ;
- B passe par les trochanters huméraux ;
- C passe par les tubérosités deltoïdiennes des humérus ;
- D passe par la pointe des olécranes ;



CHAMP ELECTRIQUE

- E passe par le pli des coudes, en région antérieure des membres.

Verticales :

- 3 passe par les trochiters huméraux ;
- 4 passe par le milieu de l'avant-bras ;
- 5 passe par la pointe des coudes ;
- 1 et 2 séparent en égales proportions l'espace compris entre 3 et le sternum ;
- 6 est tracé sur la paroi costale à une distance de 5 égale à l'intervalle 4-5.

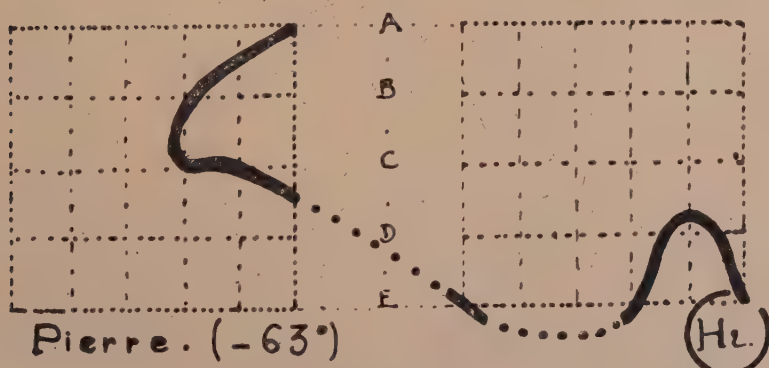
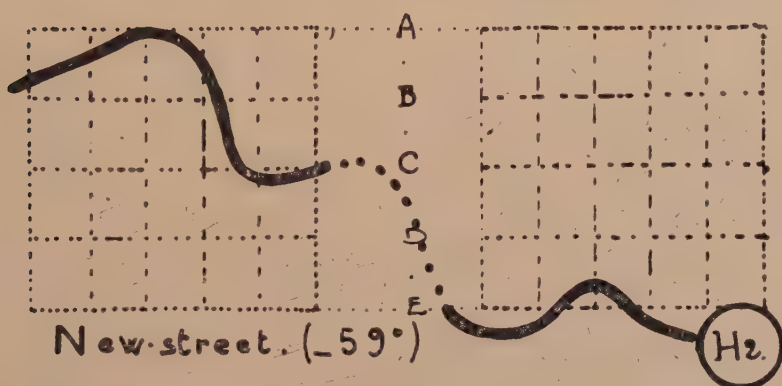
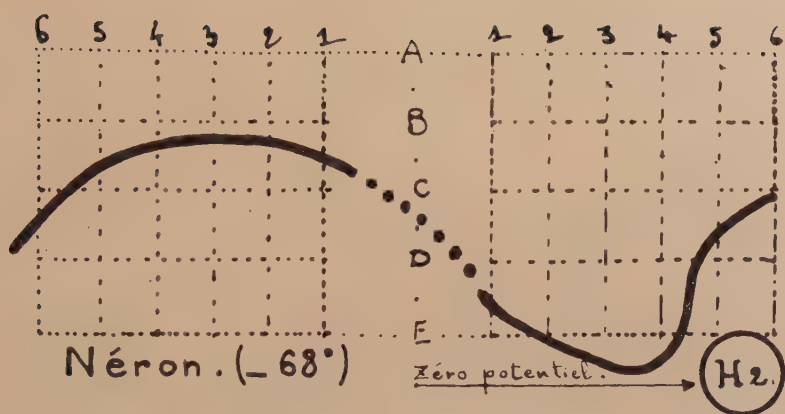
On obtient ainsi un quadrillage assez régulier définissant 30 dérivations unipolaires de type V de part et d'autre du thorax.

Nous enregistrons d'autre part 6 dérivations équidistantes sur le sternum. Pour les déterminer, nous disposons d'une bande uniformément élastique de 50 cm de longueur, marquée d'un trait transversal tous les 10 cm. Les extrémités sont appelées H1 et H 6, les quatre marques intermédiaires H2, H3, H4, H5. Nous tendons cette bande pour faire correspondre les extrémités aux apophyses trachéenne et xyphoïdienne du sternum. On marque alors l'emplacement des électrodes à poser en regard des points H1, H2, H3, H4, H5 et H6 sur la carène sternale. Chez tous nos animaux, le sternum avait une longueur nettement supérieure à 50 cm.

Rappelons que c'est au niveau du premier quart de la portion H4-H5 que se place l'électrode F pour les dérivations C.E.P.B.

Toutes les électrodes exploratrices de ce champ sont de type « crocodile » et pincent un pli de peau mouillée suffisamment important pour qu'elles tiennent en position perpendiculaire à la surface du corps ; elles rendent compte des potentiels en ces différents points par rapport au « 0 » d'une borne centrale de WILSON reliée aux dérivations R, L et F, par des résistances de 150.000 ohms.

Nous apprécions simplement l'étendue et la limite des plages négative et positive pour les seuls complexes Q.R.S.,



Champs Thoraciques (Enregistrés)

Fig. 6

3 cartes électriques de chevaux dont le zéro-potentiel est en H₂
et l'axe voisin de -68°

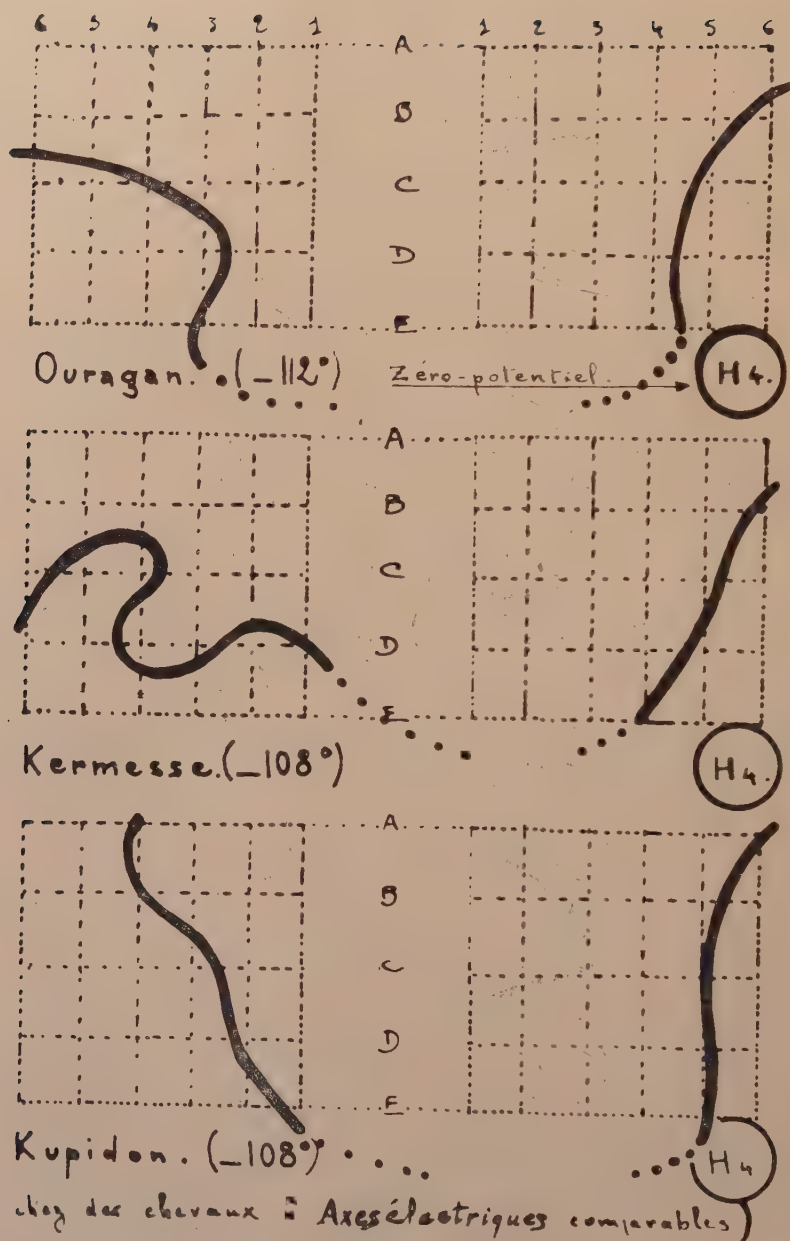


Fig. 7

3 cartes électriques de chevaux dont le zéro-potentiel est en H_4
et l'axe voisin de -130° .

sans tenir compte, a priori, des intensités potentielles en chaque point d'une même plage.

RÉSULTATS.

1° En première approximation, il y a *fort peu de ressemblances entre les différentes cartes électriques obtenues.*

Ce résultat est très différent de ce que AVRIL (1) décrit chez le chien, chez qui toutes les cartes se ressemblent. Par contre, chez l'homme, on connaît différents types de cartes qui correspondent à des types de conformation thoracique. Or, il ne semble pas que le « modèle » des chevaux étudiés permette de tirer de semblables conclusions dans cette espèce : dans les limites de nos recherches, c'est-à-dire pour des animaux appartenant à deux races morphologiquement bien différentes, nous n'avons pas trouvé de corrélation entre la conformation des thorax et l'aspect des champs.

2° *Les champs électriques sont en général réguliers.* C'est-à-dire que, de proche en proche, les tracés obtenus se modifient sans discontinuité.

3° *Champ-moyen* : La morphologie des plages est très variable. Toutefois, d'une manière générale, on peut considérer l'encolure et les épaules comme des territoires positifs chez tous les animaux. Les bras, le poitrail et la portion des côtes que nous avons étudiée, se partagent en zones positives et négatives plus ou moins étendues selon l'animal envisagé.

Le champ moyen est positif sur toutes les dérivations A, à droite comme à gauche ; il est positif sur toutes les dérivations B, sauf sur la dérivation B6 de gauche qui est nulle ; il est positif sur toutes les dérivations C, sauf sur les C5 qui sont nulles et les C6 qui sont négatives d'un côté comme de l'autre ; il est positif sur les dérivations D1, D2 et D3 à droite, et sur D1, D2, D3 et D4 à gauche. Le champ moyen est positif seulement sur les dérivations E1, E2, E3 et E4 du seul côté gauche, la dérivation E1 de droite étant nulle, toutes les autres étant négatives.

REMARQUES.

Le champ moyen résulte de moyennes arithmétiques des potentiels de chaque point de dérivation établies sur l'ensemble des observations. Il ne permet pas de dire qu'un tel champ existe chez un nombre important d'animaux. Au contraire, son graphique, comparé à toutes les cartes électriques dont nous disposons, n'a pu correspondre à aucune d'elles avec précision.

Notons ici, en comparaison, que AVRIL (1) fait état d'une onde P « en général positive sur l'hémithorax gauche et variable à prédominance négative sur l'hémithorax droit », chez le chien.

Nous avons jusqu'ici fait une totale abstraction du facteur temps dans l'analyse des courbes pour ne faire état que des potentiels moyens en chaque point.

Il y a pourtant des courbes à potentiel moyen nul qui commencent par être positives et sont négatives ensuite ou inversement. Ce modèle correspond au plus grand nombre de points étudiés.

Nous ne connaissons qu'une faible plage de points qui, chez un même animal, soient de positivité constante au cours des révolutions cardiaques.

Nous pensons donc que, si l'axe électrique moyen du cœur du cheval est parfaitement déterminable, soit dans un plan comme nous le faisons, soit par des dérivations orthogonales, le facteur instantané de dépolarisation est, lui, fort variable en amplitude comme en orientation.

4° *La ligne Zéro-potentiel.* Nous disons qu'un point est zéro-potentiel lorsque la somme algébrique des maximums de déflexion en Q, R et S d'un même ventriculogramme est égale à zéro.

Le lieu de ces points limite les plages de signes contraires, la positive étant située au-dessus et en avant, la négative au-dessous et en arrière. Ce lieu n'est pas à proprement parler une ligne, mais une bande de quelques centimètres de large en travers de laquelle on passe très progressivement de la positivité à la négativité.

Suivons cette bande à la surface du corps du cheval : elle croise assez fidèlement, sur le côté gauche, la partie moyenne des côtes 6 et 7, de haut en bas et d'arrière en avant, puis plonge presque verticalement le long du bord postérieur des anconés, cerce la pointe du coude gauche, passe dans l'inter-ars de gauche à droite et d'arrière en avant. Elle suit, sur le côté droit du corps, une ligne beaucoup plus variable selon les sujets, mais qui s'établit en moyenne obliquement d'avant en arrière et de bas en haut, partant du bord antérieur de la racine du membre à la partie moyenne des côtes 6 et 7.

On voit que la ligne zéro-potentiel croise toujours obliquement la carène sternale.

Contrairement à ce qui se passe chez le chien (1), la ligne zéro-potentiel correspond à la section du corps non pas par un plan, mais par une surface gauche. Toutefois, sa forme générale permet d'orienter le vecteur cardiaque dans le plan sagittal, nettement en biais de bas en haut et d'arrière en avant.

C) Relations de l'axe et du champ

Nous avons vu le peu d'homogénéité des cartes électriques au sein d'une même population de chevaux. Les figures n^{os} 6 et 7 rendent compte de ce caractère chez des sujets dont les axes électriques moyens déterminés graphiquement étaient pourtant très voisins.

Comment, dans ces conditions, définir de façon simple le champ électrique individuel pour le confronter avec l'axe électrique du cœur ? Ce sont les dérivations sternales qui nous ont donné la solution.

Nous avons vu que la ligne zéro-potentiel passe toujours en région sternale, en un point que les unipolaires sternales permettent d'indiquer chez chaque individu. C'est ce point que nous avons choisi pour définir une répartition des potentiels d'action cardiaque à la surface du corps. Nous l'appelons le « zéro-potentiel sternal ».

Il y a trois raisons à ce choix :

— le sternum est un élément anatomiquement bien défini, un repaire commode à situer et facilement divisible en autant de segments égaux qu'on le désire lorsque l'on a recours à la bande élastique décrite plus haut.

Tableau comparatif des valeurs de l'angle « α » et des points « zéro-potentiel sternal » chez 51 sujets.

Valeurs de l'angle	Numéros des Observations		Zéro-potentiel sternal
— 142	51	16	→ H5 de H4 à H5
— 135			
— 131			→ H4
— 130		17 - 23	
— 120	49		
— 117	48	9 - 18 - 26	
— 112	46 - 47	8	
— 110	54		(de H4 à H5)
— 109	53		
— 108	45	7 15	
— 107		22	
— 105		29	
— 104		28	
— 103	43 - 44		de H3 à H4
— 101		13	
— 100		20	(de H4 à H5)
— 97		19	
— 96		10	
— 95		25	
— 94	42		
— 91	41		
— 90	52		
— 87		11	
— 85		30	
— 83		5 - 6	→ H3
— 82	40		
— 81		14	
— 80		4	
— 75	39		de H2 à H3
— 72		3 - 24 - 27	
— 71	38		
— 70	35 - 36 - 37		
— 68	34	2	
— 63		12 - 21	→ H2
— 59		1	
	Chevaux de race Arabe-Barbe	Chevaux de demi-sang français	

— il s'agit d'un élément impair dont l'arête inférieure est située dans le plan même d'investigation retenu pour ce travail. C'est le long de cette arête que sont situées les dérivations unipolaires dites sternales.

— le champ sternal peut être totalement considéré comme à proximité du cœur, ce qui permet de faire abstraction des facteurs d'éloignement et de milieux intermédiaires qui entachent d'erreurs les autres dérivations, et d'obtenir des courbes nettement lisibles même dans la zone neutre, avec des amplitudes toujours supérieures ou égales à 0,2 millivolt de part et d'autre du zéro donné par la borne centrale de WILSON.

Axe électrique.

Nous déterminons, chez chaque sujet, le vecteur cardiaque moyen à l'aide du triangle d'EINTHOVEN, à partir des projections d1, d2 et d3 de ce vecteur sur chaque dérivation dipolaire de la méthode C.E.P.B.

Nous obtenons, pour l'angle α , des valeurs allant de — 59° à — 142° avec une moyenne arithmétique située au voisinage de — 87° pour une population de 51 chevaux (30 de demi-sang français et 21 de race arabe-barbe).

Il ne semble pas y avoir de relation entre la morphologie du sujet et l'orientation de son axe électrique, encore que, chez les chevaux barbes étudiés, les limites de variations soient moindres, de part et d'autre d'une même valeur moyenne. L'angle α évolue chez ces chevaux de modèle plus léger et plus courts que les 1/2 sang, entre — 70° et — 135°.

Rappelons que le triangle d'investigation n'est pas équilatéral et que, par conséquent, les constructions d'axes électriques ne sont qu'approchées.

Zéro-potentiel Sternal.

Lorsque l'axe électrique varie de -59° à -142° , le zéro-potentiel sternal se déplace d'avant en arrière entre les points H2 et H5 des dérivations sternales.

Le tableau ci-contre rend compte de ce que les valeurs de l'angle α et la position du point zéro-potentiel évoluent parallèlement.

Il est, dans chaque groupe de chevaux de races différentes, deux exceptions à cette règle. Ce sont, pour les 1/2 sang français les cas des chevaux :

N° 19 QUOI-DONC et

N° 20 MARQUIS-DU-DOMAINÉ,
et pour les chevaux de race barbe, le cas des

N° 53 QUO-VADIS et N° 54 USTERIS.

Nous ne savons pas quelle interprétation il faut donner à ce phénomène, mais il est à remarquer que ces quatre chevaux ne satisfaisant pas à la règle générale présentent un zéro-potentiel sternal situé entre les dérivations H4 et H5.

D'autre part, les deux chevaux, dans chaque race, ont des axes électriques à peu près semblables, soit :

— 96° et -100° pour les chevaux français.

— 109° et -110° pour les chevaux barbes.

Il faut donc conclure, avec un pourcentage d'erreurs d'environ 8 %, à une corrélation étroite entre l'angle α calculé par la méthode des dérivations C.E.P.B. et l'emplacement du zéro-potentiel sternal.

Ni la race, ni le format n'interviennent pour modifier l'échelle de comparaison. C'est ainsi que nous avons un cheval arabe-barbe présentant un angle α de -83° et deux demi-sang présentant un angle α de -82° dont les lignes zéro-potentiel coupent le sternum en H3.

De même, nous avons deux chevaux de chaque race dont le zéro-potentiel sternal est situé entre H3 et H4 et pour lesquels la valeur de l'angle α est de -117° .

REMARQUES.

— Il faut reconnaître que la détermination expérimentale du zéro-potentiel sternal est restée assez évasive, puisque nos dérivations sternales ont, dans tous les cas, des écarts de plus de 10 cm entre eux.

Par conséquent, il s'agit d'une première approximation qu'il faudrait pouvoir préciser en reprenant les mêmes effectifs et en définissant dans des limites plus étroites le point véritablement de potentiel moyen nul.

Nous disons que tel champ s'annule entre H3 et H4, lorsque H3 est nettement positif et H4 nettement négatif. Nous avons cherché à définir une « hiérarchie » plus nette, au sein de ces « secteurs nuls », en comparant les potentiels qui limitent ces secteurs. Par exemple, lorsque le point H3 présente un potentiel + 0,4 millivolt et le point H4 — 0,1 millivolt, nous pouvons affecter au zéro-potentiel une situation approximative à distance quatre fois plus proche de H4 que de H3.

En classant ainsi nos chevaux dans chaque secteur sternal pris séparément, nous retrouvons le même ordre de classement qu'indique le tableau ci-dessus, établi d'après les valeurs de l'angle α pour les 47 chevaux vérifiant l'échelle de correspondance.

— Les dérivations H1 à H6 sont situées à une distance telle du cœur que l'on est tenté de penser qu'elles n'analysent qu'une portion du phénomène de dépolarisation cardiaque, celle de la portion de cœur qui leur est la plus proche.

FATTORUSSO (13) nie cependant ces effets de proximité lorsque chez l'Homme on emploie des électrodes ayant une surface de contact avec la peau telle qu'on ne peut considérer comme ponctuels les points dérivés. C'est le cas de toutes nos observations.

Il faut de plus remarquer qu'il y a continuité des variations du champ à ce niveau, dans le sens latéral. Un

champ régulier est le fait d'une source suffisamment éloignée pour être considérée comme ponctuelle.

Notons enfin que, si l'axe varie moins chez les chevaux de type barbe, il ne faut pas en conclure une différence nettement spécifique, car les effectifs examinés sont moindres que ceux des chevaux de demi-sang.

DISCUSSION

Pour être pleinement valable, un jeu de dérivations standard doit être choisi de façon à englober le champ dans sa totalité, à l'intérieur d'un triangle équilatéral. Ce champ est analysé de 60° en 60° par les trois dérivations dipolaires qui se supplémentent ainsi les unes les autres.

Ainsi la « source » cardiaque se trouve au centre du triangle et les trois points dérivés deux à deux ne se trouvent pas dans un hémisphère de même potentiel.

C'est ce qui se passe dans le plus grand nombre des cas observés, avec les dérivations C.E.P.B.

Nous avons toujours obtenu, pour les unipolaires du point L (aVL) des potentiels à moyenne nettement positive, et le plus souvent des potentiels demeurant positifs tout au long du ventriculogramme.

Lorsque le zéro-potentiel sternal est situé en arrière de F (au delà du premier quart de la distance H4-H5), il est évident que les deux points de dérivation R et F sont également positifs.

L'exploration du courant d'action ventriculaire est dès lors partielle, les trois sommets du triangle se trouvant situés dans l'« hémisphère positif ».

Si dans ces conditions l'équation d'EINTHOVEN se trouve vérifiée, la construction du vecteur électrique moyen n'en est pas moins entachée d'erreur. L'angle α mesuré était, selon les cas, de -100° ou de -110° environ, mais l'axe réel, qui ne peut être défini par cette méthode, doit en fait dépasser -130° . En effet, la détermination du zéro-poten-

tel sternal reste juste, et l'ultime valeur d'angle α qui corresponde certainement à un point antérieur à F est — 130° (voir le tableau précédent).

Ceci tend à prouver qu'il doit être plus juste de se référer à l'échelle des grandeurs comparées de α et du *zéro-potentiel sternal* que de construire cet axe au moyen du triangle d'EINTHOVEN.

D'autre part, le triangle d'investigation C.E.P.B. ne convient pas, lui non plus, à l'analyse des courants d'action ventriculaire de tous les chevaux.

Encore faut-il remarquer que, sur un ensemble de 51 chevaux, il n'en est que 7 dont le *zéro-potentiel sternal* soit postérieur à H4 et probablement moins encore qui le soient à F.

Faut-il, dans ces conditions, recuier le point F des dérivations C.E.P.B. ? Nous ne le croyons pas, car alors la droite R-F, qui représente la dérivation D II, passe à proximité immédiate du cœur, si ce n'est au travers les ventricules, et le problème n'est pas mieux résolu. Le point F a été déterminé par tâtonnements méthodiques et c'est l'emplacement défini dans ce travail qui donne les meilleurs résultats. Sa détermination sur le corps du cheval est aisée, à partir du moment où l'on a placé sur la bande élastique un repaire convenable.

Si nous admettons, avec HAMLIN (15), que « les ventricules de toutes les espèces se dépolarisent de manière à peu près identique », il doit être possible de déterminer et d'analyser séparément chez le cheval les différents vecteurs caractéristiques, comme il a été possible de le faire chez l'homme, chez le chien et même chez le porc (16).

Dans ces trois espèces, les auteurs sont généralement d'accord pour distinguer trois vecteurs partiels de dépolarisation ventriculaire contribuant à composer le « vecteur cardiaque ».

Chez le cheval comme chez le bœuf, il ne semble pas que trois vecteurs successifs puissent suffire à rendre compte du phénomène (23 et 15) ; donc chez le cheval moins encore que chez le chien (29), la théorie du dipôle unique ne peut être considérée comme exacte.

Il existe trois degrés de précision croissants dans la détermination du courant d'action ventriculaire :

- L'analyse du vecteur moyen,
 - dans un plan judicieusement choisi, ou mieux,
 - dans un ensemble de dérivations orthogonales.
- L'analyse des vecteurs caractéristiques.
- L'analyse de la boucle vecto-cardiographique.

Nous savons que la première étape est de valeur limitée, car deux vecteurs de grande amplitude (correspondant à la dépolarisation de volumes importants du myocarde) peuvent s'opposer partiellement et ne pas donner de nettes différences de potentiel à la surface du corps.

Nous pensons nécessaire de sauter la seconde étape pour nous intéresser directement à la vecto-cardiographie qui donne les seuls résultats définitifs, et que l'emploi des oscillographes modernes permet d'envisager comme une technique d'avenir en séméiologie cardiaque.

CONCLUSIONS

1° Nous concluons, après analyse des dérivations *podales*, de DUBOIS et C.E.P.B., que seules ces dernières vérifient l'équation d'EINTHOVEN dans un nombre suffisant de cas pour répondre à l'appellation « Standard » chez le cheval.

Ceci n'est qu'une confirmation, sur une population de 43 sujets appartenant à deux races morphologiquement distinctes, des résultats dont BLANCHARD fait état dans sa Thèse de Doctorat Vétérinaire, sur 17 chevaux.

2° De plus, cette méthode d'exploration permet une analyse du vecteur cardiaque moyen dans un plan où il évolue en amplitude et en direction.

La méthode d'exploration dite classique, par dérivations *podales*, ne permet pas en général la construction graphique de la représentation moyenne d'un tel vecteur, l'équation d'EINTHOVEN ne se trouvant pas vérifiée.

La méthode de DUBOIS ne permet d'apprécier que les variations d'amplitude de la projection du vecteur cardiaque dans le plan que définissent ses dérivations. Dans ce plan, l'angle α ne varie pratiquement pas et se trouve toujours voisin de -90° . C'est donc que l'axe électrique est placé, de façon très générale, dans un plan vertical orienté selon l'axe du corps du cheval.

C'est donc bien dans ce plan sagittal qu'il fallait étudier le courant d'action cardiaque, et c'est ce que réalise la méthode C.E.P.B. ou Standard, mise au point par les Vétérinaires Commandants CHARY et DUFOR et par le Vétérinaire Aspirant BLANCHARD.

3° Le vecteur cardiaque moyen varie dans de larges proportions autour de sa moyenne située à -87° par rapport au côté D I du triangle d'exploration.

Si l'on prend arbitrairement comme point d'origine du vecteur cardiaque la partie supérieure du septum inter-ventriculaire, il est possible de l'orienter, dans le plan sagittal, en direction de la partie moyenne du bord antérieur des épaules.

4° Le champ électrique, lui aussi, est de morphologie assez variable selon les sujets, sans qu'il soit possible, sur les effectifs envisagés, d'établir une corrélation entre cette répartition des potentiels de surface et le « modèle » de cheval étudié.

5° Il existe un élément de référence privilégié pour l'évaluation de ces champs. Il est constitué par la carène sternale. Le long du sternum, le potentiel moyen de Q.R.S., positif dans tous les cas au voisinage de l'apophyse trachéenne, est dans tous les cas négatif à l'extrémité xyphoïdienne. Entre ces deux extrémités, le potentiel évolue progressivement et sa moyenne algébrique est nulle en un lieu qu'il est facile de déterminer par rapport aux points équidistants d'une bande élastique, ce qui permet la comparaison d'un animal à l'autre.

Ce lieu varie avec l'orientation de l'axe électrique moyen de telle manière qu'il est facile de connaître cet axe par simple examen des potentiels des dérivations sternales.

Vu : le Directeur
de l'Ecole Nationale Vétérinaire, *Vu : le Président de la Thèse,*
R. FLORIO. CHATONNET.

Vu et permis d'imprimer : Lyon, 4 Décembre 1964.

Vu : le Doyen, *Vu : le Recteur,*
J.-F. CIER. *Président du Conseil de l'Université:*
P. LOUIS.

BIBLIOGRAPHIE

1. AVRIL (P.-B.). — *Le champ électrique du cœur normal et pathologique. Etude expérimentale.* Masson et Cie, 1956.
2. BARDIN (P.), MAYONADE (G.) et STEIN (P.). — *Précis d'électro et de vecto-cardiographie.* L'expansion Scientifique Française, 2^e édition.
3. BENAZET (P.), BORDET (R.) et BRION (A.). — Etude télémétrique de l'E.C.G. du cheval de sport. *Rec. Méd. Vétérinaire*, 1964, 140, 449 à 459.
4. BLANCHARD (J.). — *Contribution à l'étude de l'électrocardiographie chez le cheval de sport. Choix de nouvelles dérivations.* Th. Doct. Vét., Lyon, 1964.
5. BRESSOU (M.). — *L'électrocardiogramme et le phonocardiogramme du cheval normal.* Th. Doct. Vét., Paris, 1944.
6. CANTEGRIT, CHEVAT, FAVRE, MACAREZ, MERLEN. — Champ électrique du cœur du cheval. *Archives Maladies Cœur et Vaisseaux*, 1960, 53, N° 2.
7. CARRÈRE (J.-M.-M.). — *Contribution à l'étude de l'électrocardiogramme chez le cheval.* Th. Doct. Vét., Toulouse, 1952.
8. CHARTON (A.), MINOT (G.) et BRESSOU (M.). — L'électrocardiogramme normal du cheval. *Bull. Acad. Vét.*, 1943, 16, 141 à 148.
9. CHARY (R.), DUFOUR (R.) et BLANCHARD (J.). — Techniques d'électrocardiographie chez le cheval. (Article à paraître).
10. DOUMER (Ed.). — *Les principes de l'électrocardiographie.* Masson et Cie, 1950.

11. DUBOIS (M.). — Du choix des dérivations et d'une normalisation de l'électrocardiogramme chez quelques ongulés domestiques. *Rec. Méd. Vét.*, 1961, 137, 425 à 448.
12. ERICKSON (K.-V.), SHER (A.-M.) et BECKER (R.-A.). — Ventricular excitation in bundle branch block. *Circulation Research*, 1957, 5, 5 à 10.
13. FATTORUSSO (V.) et RITTER (O.). — *Atlas d'électrocardiographie*. Masson et Cie, 1963.
14. GOULHOT (J.-P.). — *Contribution à l'électrocardiographie dans les myocardites du cheval*. Th. Doct. Vét., Lyon, 1961.
15. HAMLIN (R.-L.), DAVID (L.), SMETZER (C.) et SMITH (R.). — Analysis of Q.R.S. complex recorded through a semi-orthogonal lead system in the horse. *Am. J. of Physiol.*, 1964, 207, 325.
16. HAMLIN (Robert-L.). — The Q.R.S. electrocardiogram, vectocardiogram and ventricular excitation of swine. *Am. J. of Physiol.*, 1960, 193, 537 à 542.
17. HAMLIN (R.-L.) et SMITH (C.-R.). — Anatomical and physiological basis for interpretation of E.C.G. *Am. J. of Vet. Research*, 1960, 21, 701 à 708.
18. KAYSER (C.-H.). — *Physiologie*, Tome III, p. 286 à 338, Paris, Ed. Méd. Flammarion, 1963.
19. LESCURE. — Les techniques instrumentales de l'examen cardiologique. *Compte rendu du Congrès de la Conférence Nationale des Vétérinaires Spécialistes des Petits Animaux*, numéro spécial, 1963, 55 à 71.
20. LIAN (C.) et COBLENTZ (B.). — *Guide d'électrocardiographie*. Paris, Masson et Cie, 1954.
21. MACAREZ (J.-A.). — *Contribution à l'étude du champ électrique du cœur. Travail expérimental chez le cheval*. Th. Doct. Méd., Lyon, 1958.
22. MAURO (A.), NAHUM (L.-H.), SIKAND (R.-S.) et HYMAN CHERNOFF. — Equipotential distribution for the various instants of the cardiac cycle on the body surface of the dog. *Am. J. of Physiol.*, 1952, 168, 584 à 591.
23. NICOULEAU (J.). — *Topographie cardiothoracique du cheval et du bœuf*. Th. Doct Vét., Toulouse, 1926.

24. PINES (I.). — Sur les endo-électrocardiogrammes des chevaux. *Arch. Mal. Cœur et Vaisseaux (Fr.)*, 1958, 51, 1.061.
 25. PRADIER (P.). — *Contribution à l'étude de l'électrocardiogramme du cheval de sport*. Th. Doct. Vét., Paris, 1962.
 26. RUCH (Th.-C.) et FULTON (J.-F.). — *Medical physiology and biophysics*, 1 volume, Philadelphie, W.-B. Saunder C°, 1961.
 27. SALESSE (L.). — *Epistaxis et électrocardiographie du cheval de course*. Th. Doct. Vét., Toulouse, 1957.
 28. SHER (A.-M.), YOUNG (A.-C.) et MEREDITH (W.-H.). — Factor analysis of the E.C.G. Test of electrocardiographic theory. Normal hearts. *Circulation Research*, 1960, 8, 519.
 29. SHER (A.-M.) et YOUNG (A.-C.). — The patway of ventricular depolarization in the dog. *Circulation Research*, 1956, 4, 461.
 30. TAGAND (R.) et BARONE (R.). — *Anatomie des équidés domestiques*. Tome I, Fascicules 2 et 3, Lyon, Camille Annequin, éditeur, 1961.
 31. TACCARDI (B.). — Distribution of heart potentials on dog's thoracic surface. *Circulation Research*, 1962, 11, 862.
-

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION	9
--------------------	---

CHAPITRE I

TRAVAUX ANTÉRIEURS ET DONNÉES DE LA LITTÉRATURE	11
A) <i>Principes de l'Electrocardiographie</i>	11
Potentiel de repos et potentiel d'action	11
Le dipôle cardiaque	12
Champ électrique - Principe de dérivations dipolaires	13
Equation d'Einthoven	16
Principe de détermination graphique de l'axe électrique	17
Signification et valeur de l'axe électrique	18
Signification et valeur du champ électrique	20
B) <i>Instrumentation et techniques d'enregistrement</i> ...	21
Electrocardiographes	21
Electrodes	22
Dérivations dipolaires et unipolaires	22
Différents plans d'investigation proposés	24

CHAPITRE II

NOS RECHERCHES PROPREMENT DITES	31
Sujets et matériel d'expérience - Plan de travail ..	31
A) <i>Essais de dérivations dipolaires</i>	33
Dérivations podales	34
Dérivations de Dubois	34
Dérivations C.E.P.B.	34

B) <i>Etablissement des cartes électriques</i>	37
Conditions de travail	37
Résultats	41
C) <i>Relations de l'axe et du champ</i>	43
Axe électrique	45
Zéro-potentiel sternal	46
DISCUSSION	49
CONCLUSIONS	53
BIBLIOGRAPHIE	55



